機関損傷事例の紹介

情報技術部　島村裕之

1. まえがき

本稿は 2005 年度(2005 年 1 月 1 日～2005 年 12 月 31 日)に検査記録書により報告された、本会船級登録船の機関関係の一般損傷についてまとめたものである。なお、対象とした本会船級登録船は、2005 年度末において本会に船級を登録していた船舶及び 2005 年度中に本会の船級登録を抹消した船舶を合わせた 6,797 隻（うち、自航船 6,288 隻）である。

本稿では、まず、主要機器の損傷について 1986 年以降の推移、傾向の概要を述べ、次いで 2005 年度の各機器の主要損傷について説明する。

また、船舶の航行に支障を及ぼした損傷については、自航不能に至らしめた損傷（以下、自航不能損傷という)、及び、主機出力を低減し減速航行[*1]を余儀なくされた損傷（以下、出力低減損傷という）に分類し、1986 年度以降の推移及び傾向を述べるとともに、これらの損傷例については各機器の項でその内容の一部を説明する。

なお、本稿でいう機関関係の一般損傷とは、船舶の検査時において発見された検査対象機器の損傷をいい、その大半は、機器部品の軽微な摩耗や腐食などであるが、放置しておけば大きな損傷に発展し得る可能性があるものも含んでいる。なお、プロペラの浮流物接触による損傷など、海難によって発生したと推定される損傷は、一般損傷に含めず集計から除外している。

[*1]： 航海可能な速力であって、河川航行及び出入港を含み、舵によって船舶の操船を維持し、且つ、長時間の航海に耐える速力であり、通常 7 ﾉｯﾄ程度、または、満載喫水状態で船舶の連続最大出力時の計画速力の 1/2 を標準とする速力での航行。

2. 主要機器の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図 1 ないし**図 6** に 1986 年度から 2005 年度までの 20 年間における主要機器（ディーゼル主機関、蒸気タービン主機関、ディーゼル主機関用動力伝達装置、プロペラ軸、プロペラ、ボイラ及び主発電機用機関）についての搭載台数[*2]及び損傷率[*3]の推移を示す。

[*2]： 各年度において対象船に搭載または装備されていた機器の数。

[*3]： 各年度においてその 1 年間に何らかの損傷が報告されたものを損傷機器として数え、これらの搭載台数に対する比率。

図 1 にディーゼル主機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移を示す。搭載台数は、1986 年から 1993 年までは 2 サイクル機関及び 4 サイクル機関がほぼ同数、1994 年以降は 2 サイクル機関が増加し、4 サイクル機関が減少するという明瞭な傾向が認められた。2004 年度と 2005 年度とを比較してみても、2 サイクル機関では約 3.8%増、4 サイクル機関では約

0.9%減となっている。因みに、この傾向が出始めた1994年度と2005年度とを比較すると、2サイクル機関では約30.2%増、4サイクル機関では約28.9%減となっている。損傷率では、年度により増減はあるものの、全般的には減少傾向にある。なお、2005年度の損傷率は2004年度と比較し、4サイクル機関では減少したが、2サイクル機関では若干増加した。2サイクル機関の損傷率は、20年間に約1/3まで減少しており、特に、燃焼室回りの構成部品にその傾向が現れている。

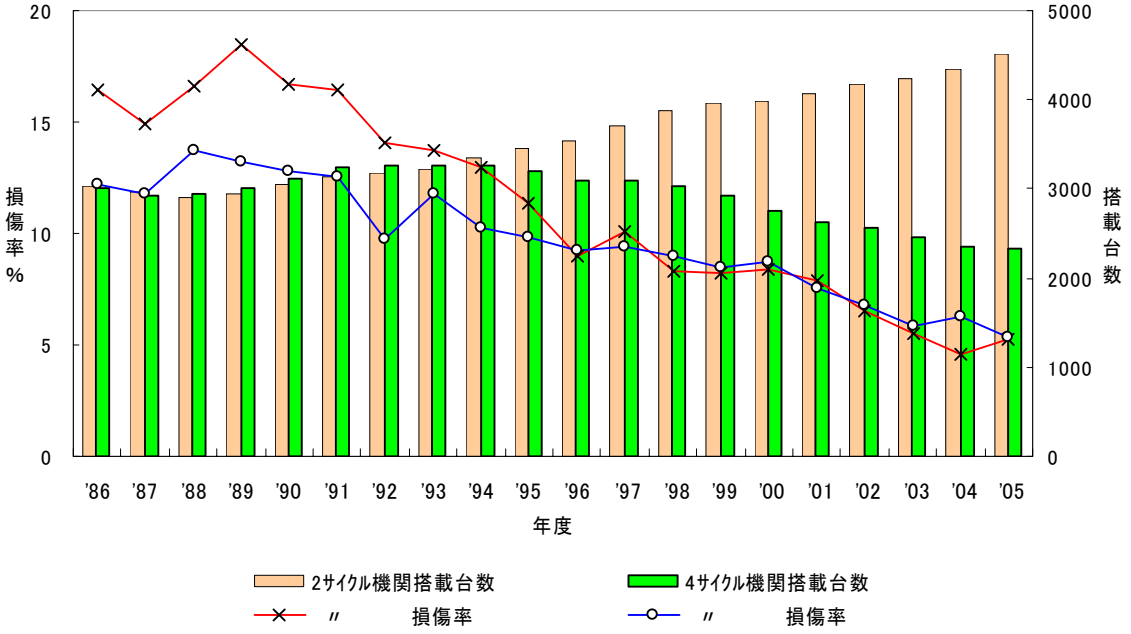

図１　ディーゼル主機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図２に蒸気タービン主機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移を示す。搭載台数は、2004年度と比較して若干増加し、36台であった。その内訳は、1970年代建造の油タンカ1隻、1983年以降建造のLNG船35隻である。**図２**に示すように、2005年度は2004年度と比べ損傷率は半減したが、母集団（搭載台数）が少ない為、1台でも損傷があった場合に損傷率が大きく変化してしまうことがその理由である。因みに、損傷台数で比較すると2004年度の2台に対し、2005年度は1台の蒸気タービン主機関に損傷が報告された。

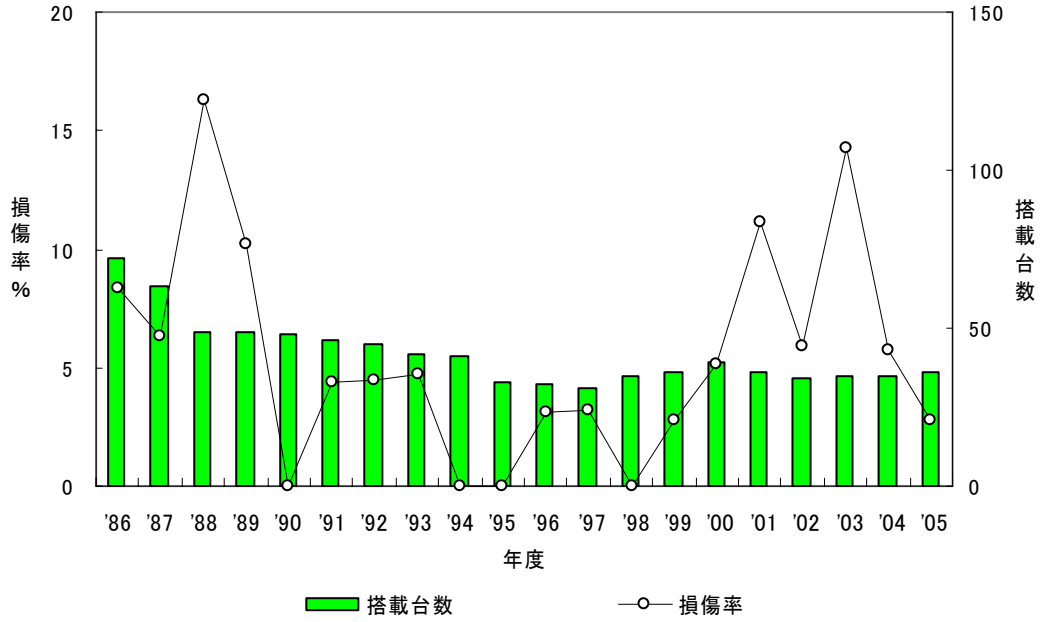

図２　蒸気タービン主機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図３－１及び**図３－２**にディーゼル主機関用動力伝達装置（弾性継手及び減速機）の搭載台数及び損傷率の年度別推移をそれぞれ示す。弾性継手及び減速機（逆転機を含む）の損傷は軽微な劣化や摩耗などであり、損傷率はいずれも年度により若干の増減はあるものの低い。2005 年度は 2004 年度と比べ、弾性継手の損傷率は若干増加した。なお、動力伝達装置に損傷を生じると、船舶の航行に支障を及ぼす重大な損傷になることもある。

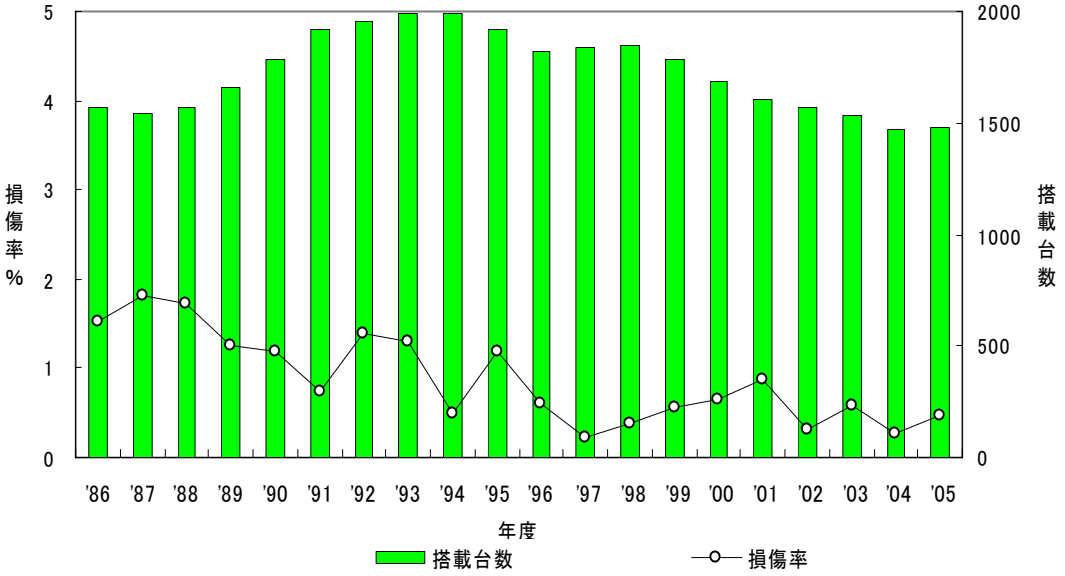

図３－１　ディーゼル主機関用弾性継手の搭載台数及び損傷率の年度別推移

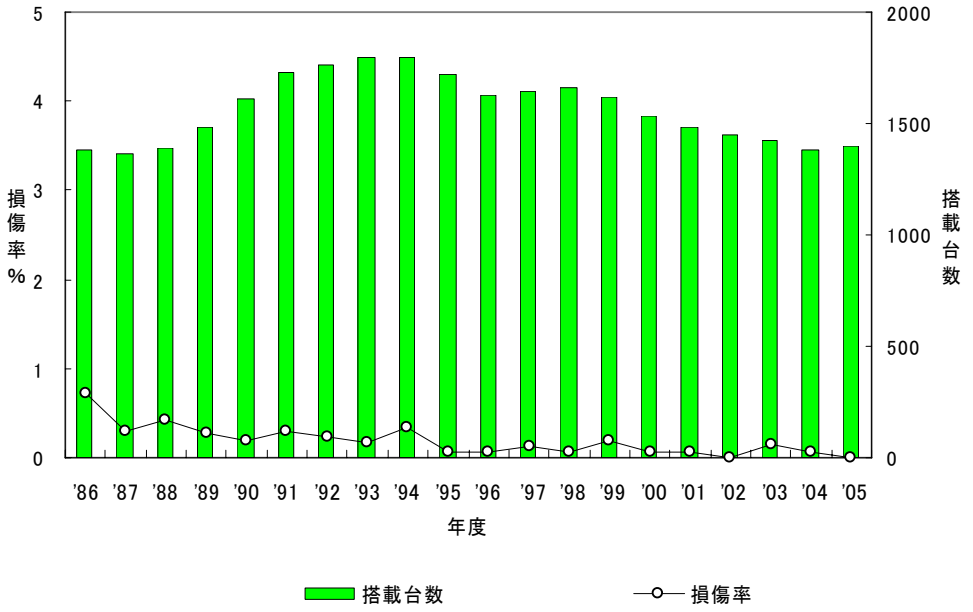

図３－２　ディーゼル主機関用減速機の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図４にプロペラ軸及びプロペラの装備数及び損傷率の年度別推移を示す。損傷率は若干の増減はあるものの、最近はいずれも横這い状態である。2005 年度のプロペラ軸の損傷率は 2004 年度と比べ、若干減少し、プロペラの損傷率は若干増加した。プロペラ軸またはプロペラの損傷により船舶の航行に支障を及ぼした重大な損傷は、2005 年度も例年通り少なかった。しかし、プロペラ軸コーンパート大端部のき裂発生は、例年減少傾向であるが、2005 年度は 2004 年度と比べ若干増加し、10 件報告されている。なお、損傷率の算定には含めていないが、浮流物などの接触によるプロペラ翼の曲損及び欠損などの偶発的な損傷は各年度とも相当数報告されている。

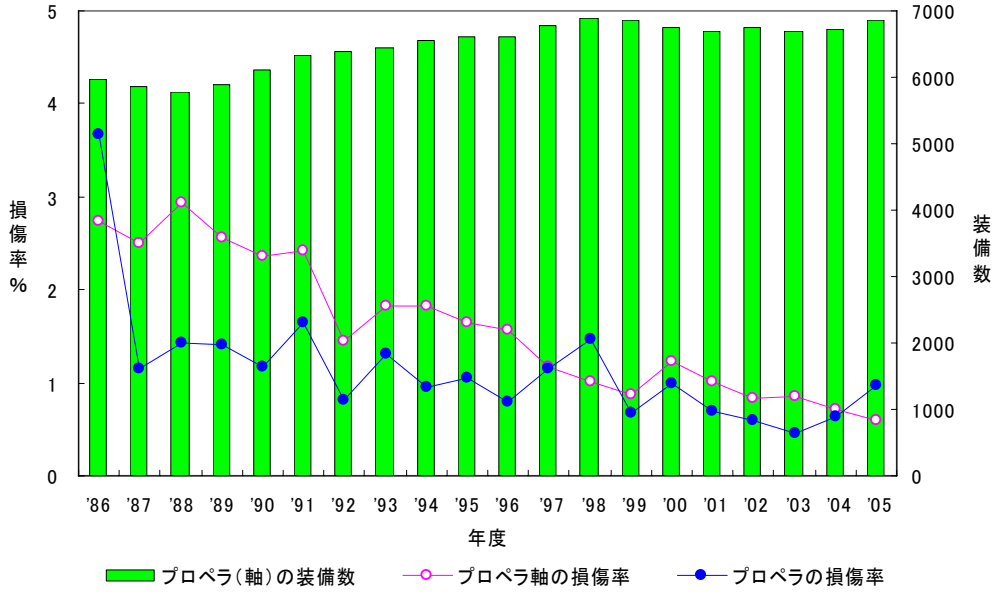

図４　プロペラ軸及びプロペラの装備数並びに損傷率の年度別推移

図５－１及び図５－２にボイラの搭載缶数及び損傷率の年度別推移をそれぞれ示す。主ボイラの搭載缶数は 2004 年度と比較し、2005 年度は若干増加した。また、損傷率は倍増したが、母集団（搭載缶数）が少ない為、１缶でも損傷があった場合に損傷率が大きく変化してしまうことがその理由である。因みに、損傷缶数で比較すると、2004 年度には 2 缶に損傷報告があり、2005 年度には 6 缶に損傷報告があった。
補助ボイラの損傷率は各年度で増減はあるものの全般に減少傾向或いは横這い状態である。

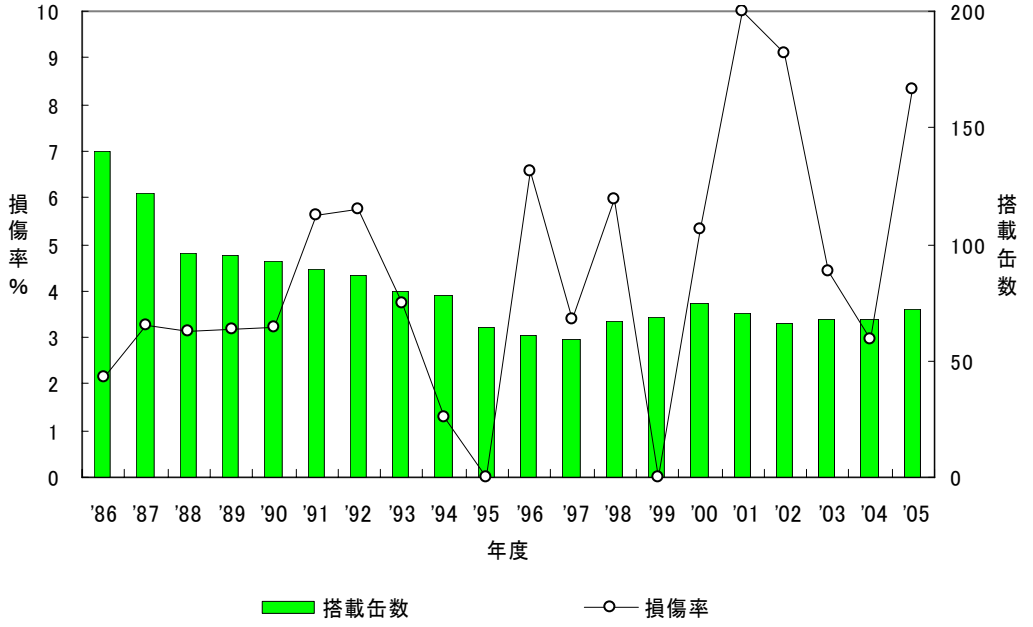

図５－１　主ボイラの搭載缶数及び損傷率の年度別推移

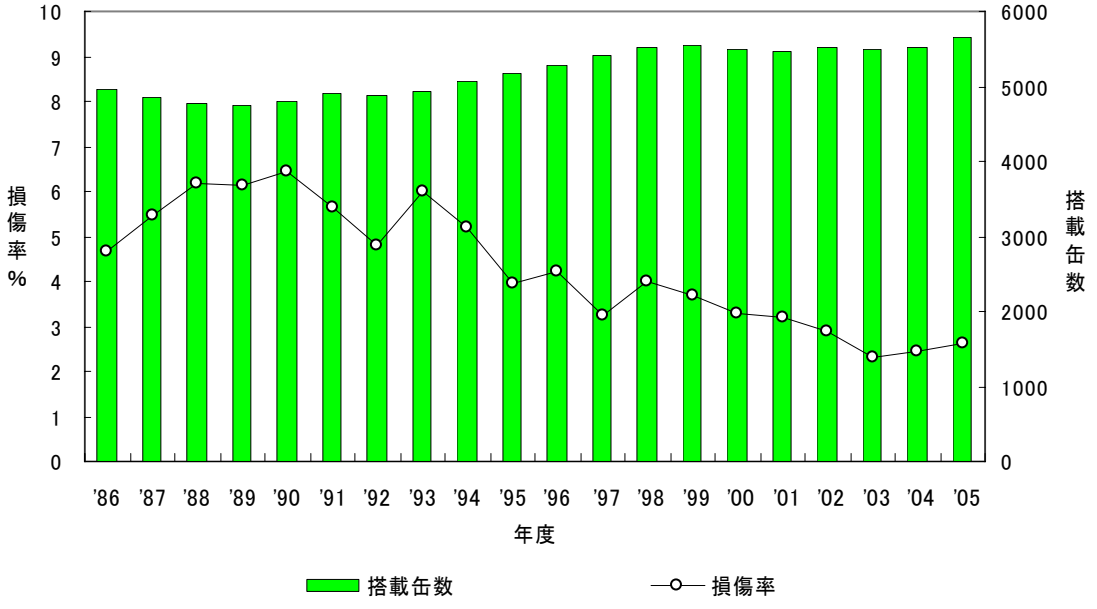

図５－２　補助ボイラの搭載缶数及び損傷率の年度別推移

図６－１及び図６－２に主発電機用機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移をそれぞれ示

す。主発電機用ディーゼル機関の損傷率は近年減少傾向にあり、2005 年度も 2004 年度と比べ減少した。搭載台数が多い為、損傷率に大きな影響は与えないものの、クランクピンボルトの折損等による連接棒の足出し及びクランク軸の折損や焼損などの損傷が 2005 年度も報告されている。主発電機用タービン機関の損傷率は年度により増減はあるもののいずれも低率であるが、2005 年度は 2004 年度と比較して若干増加した。

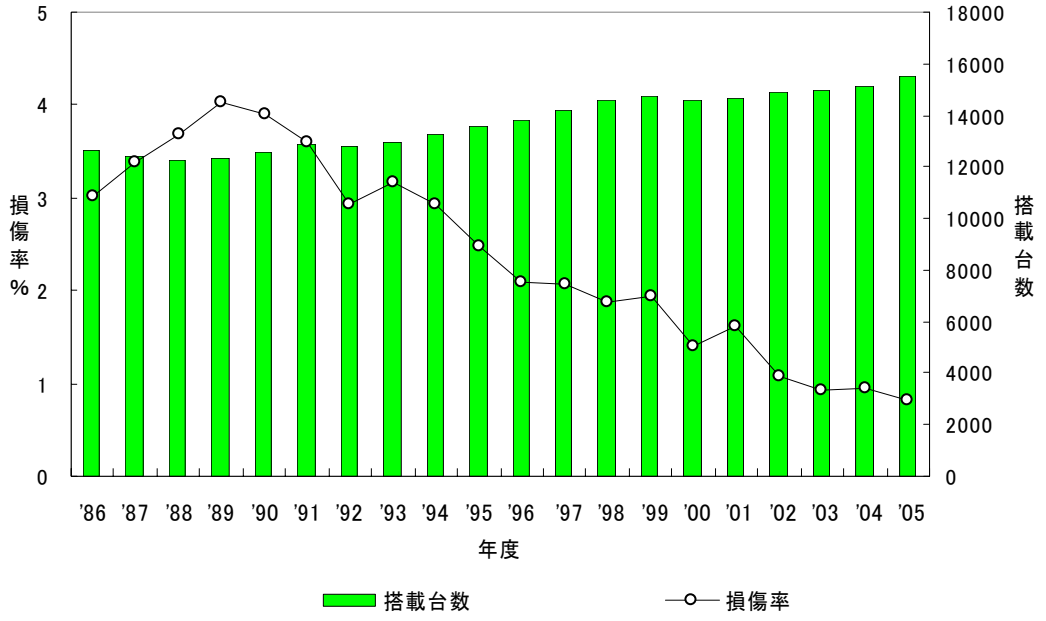

図６－１　主発電機用ディーゼル機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移

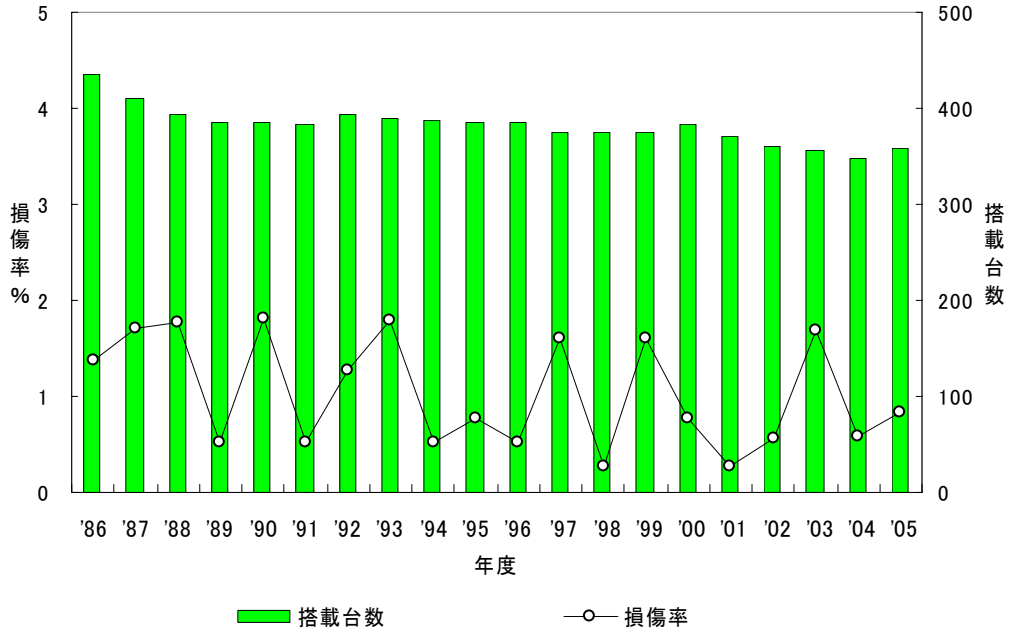

図６－２　主発電機用タービン機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移

3.　2005 年度の主要機器の損傷

以下に主要機器の損傷について述べるが、ディーゼル主機関については、一般にシリンダユニット毎に損傷の発生があることから、損傷率としてシリンダユニット単位で表す搭載

ユニット数損傷率[*4]を用いて集計した。なお、ディーゼル主機関でも搭載台数が少ない型式やその他の機器などで、損傷率で表すのが適当でない場合には損傷件数を用いた。

[*4]： 2005 年度において損傷報告のあったユニット数／2005 年度の搭載ユニット数×100（%）

搭載ユニット数損傷率は、あるユニットの部品に損傷が発生し、二次的に他の部品やユニットなどに損傷が波及した場合には、それぞれの部品やユニットに対して損傷が計上されることになる。例えば、シリンダ燃焼室まわりのユニットなどにこの傾向が現れることが多く、単独損傷と複合損傷の視野に立って損傷発生状況を判断する必要がある。

3.1 船舶の航行に支障を及ぼした損傷の動向

船舶の航行に支障を及ぼした損傷（自航不能損傷及び出力低減損傷）の年度別推移とその傾向を概説する。1986 年度から 2005 年度の各年度別に見ると、本会船級登録船（自航船）総隻数の 0.2%～0.6%の範囲内に自航不能損傷が発生し、0.5%～1.5%の範囲内に出力低減損傷が発生している。2005 年度はそれぞれ 0.33%（21 隻）、0.89%（56 隻）で、例年の範囲内であったが、2004 年度と比べ、自航不能損傷及び出力低減損傷は、ともに若干減少した。

図 7 は 1986 年度から 2005 年度の各年度について、船舶の航行に支障を及ぼす要因となった損傷を機器別の割合（各年度の自航不能損傷と出力低減損傷との合計件数を 100 として表したもの）で示したものである。各年度とも主機関が要因となった割合が殆どを占めており、2005 年度も同様であった。また図中の機関室とは、機関室の浸水や火災などによる事故で、機関室全般に亘って損傷を及ぼしたものをいう。

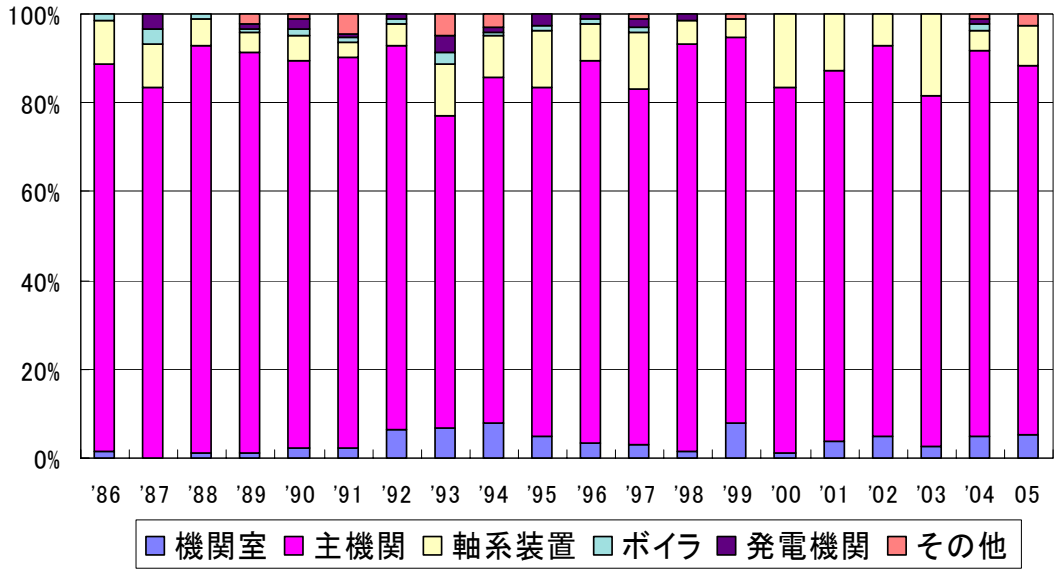

図7 船舶の航行に支障を及ぼした損傷件数割合の年度別推移（機器別）

図 8 は 2005 年度の船舶の航行に支障を及ぼした損傷について、自航不能損傷と出力低減

損傷に分け、これらの損傷を機器別（ディーゼル主機関については損傷部位別としている）の割合で示したものである。自航不能損傷では、例年主機関クランク軸関係の割合が比較的多いが、2005 年度は、特に主機関に関連する損傷の割合が、全体の約 70%を占めている。出力低減損傷では、過給機の割合が高く、この傾向は例年と同様である。

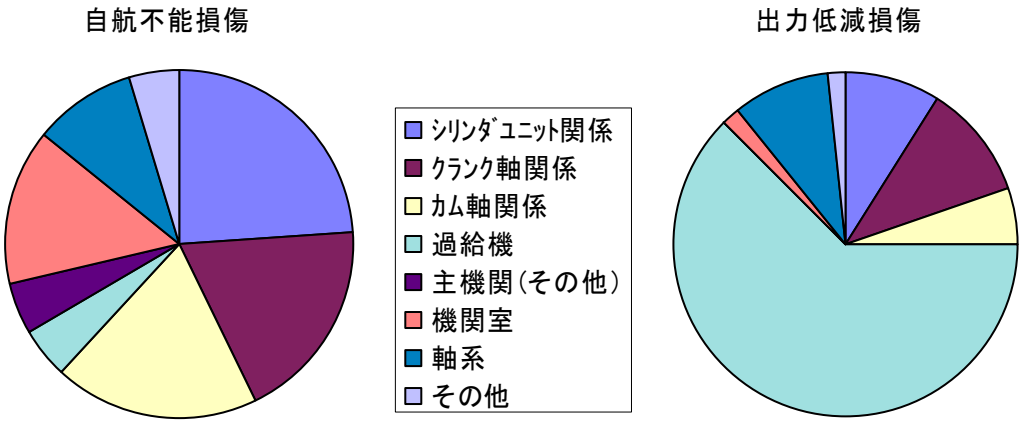

図８　２００５年度の船舶の航行に支障を及ぼした損傷件数の機器及び部位別の割合

図 9 は 1986 年度から 2005 年度の各年度について、ディーゼル主機関に起因した船舶の航行に支障を及ぼした損傷に関し、その部位別の割合（各年度の自航不能損傷と出力低減損傷との合計を 100 として表したもの）を示したものである。最近では過給機の割合が高く、2005 年度も同様である。また 2005 年度は 2004 年度と比較し、カム軸関係及びシリンダユニット関係の割合が増加している。

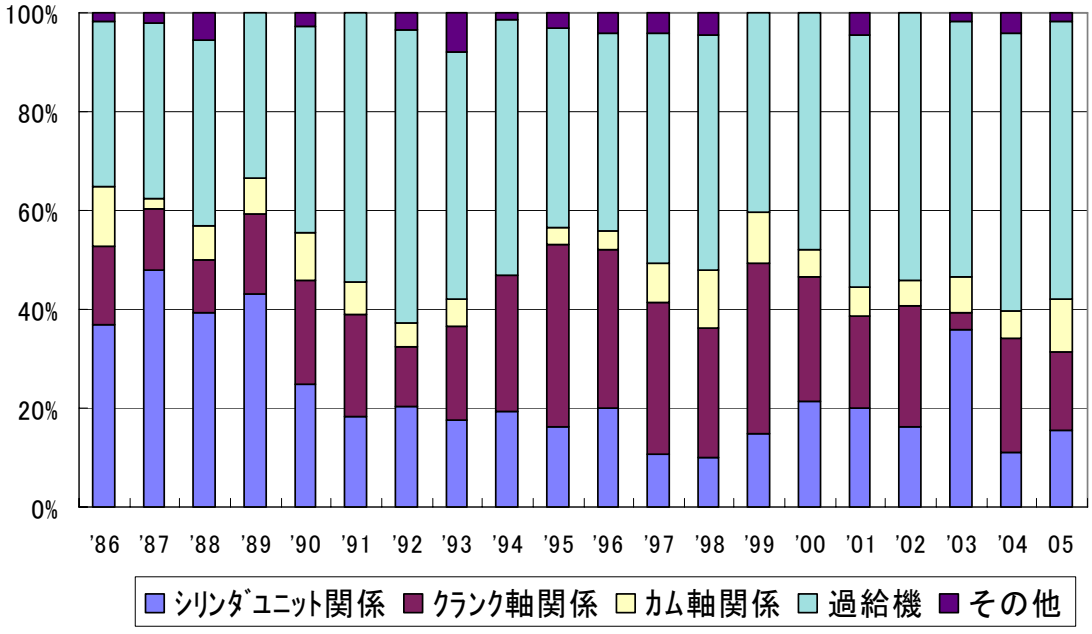

図９　ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ主機関に起因し船舶の航行に支障を及ぼした損傷件数割合の年度別推移（部位別）（各年度の件数を 100 とした）

4. ディーゼル主機関の損傷

ディーゼル主機関の損傷集計においては、機関の型式を先ず、2 サイクル主機関と 4 サイクル主機関に分類した。

図１０に 2 サイクル主機関、**図１１**に 4 サイクル主機関の搭載ユニット数損傷率の 1986 年度からの年度別推移をそれぞれ示す。なお、カム軸駆動装置、過給機及び空気冷却器については搭載数損傷率で示している（これ以降に示すユニット数損傷率の図でも同様）。

図１０及び**図１１**を比較すると、2 サイクル主機関では過給機が、4 サイクル主機関ではクランク軸関係軸受の損傷率が高い。

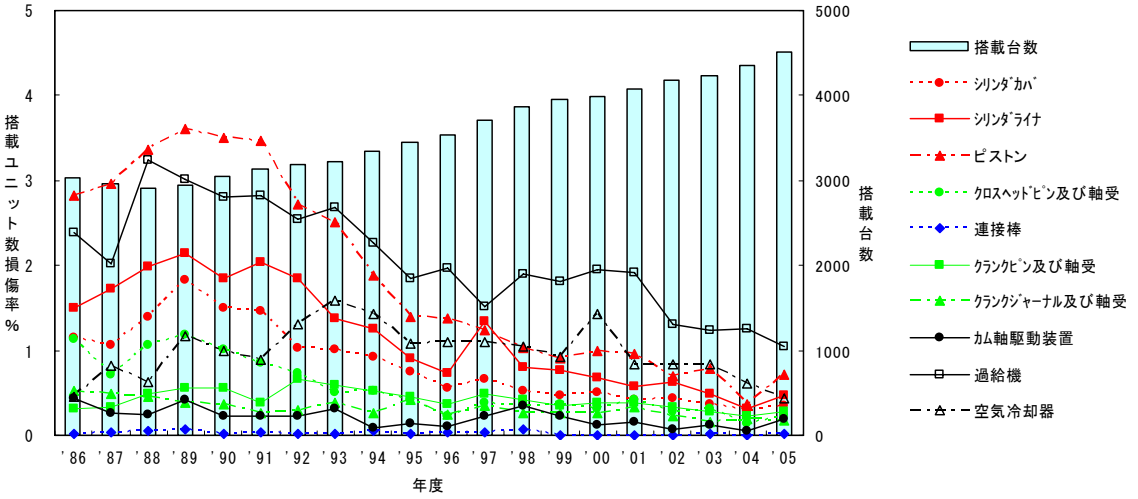

図１０　２サイクル主機関の搭載ユニット数損傷率の年度別推移

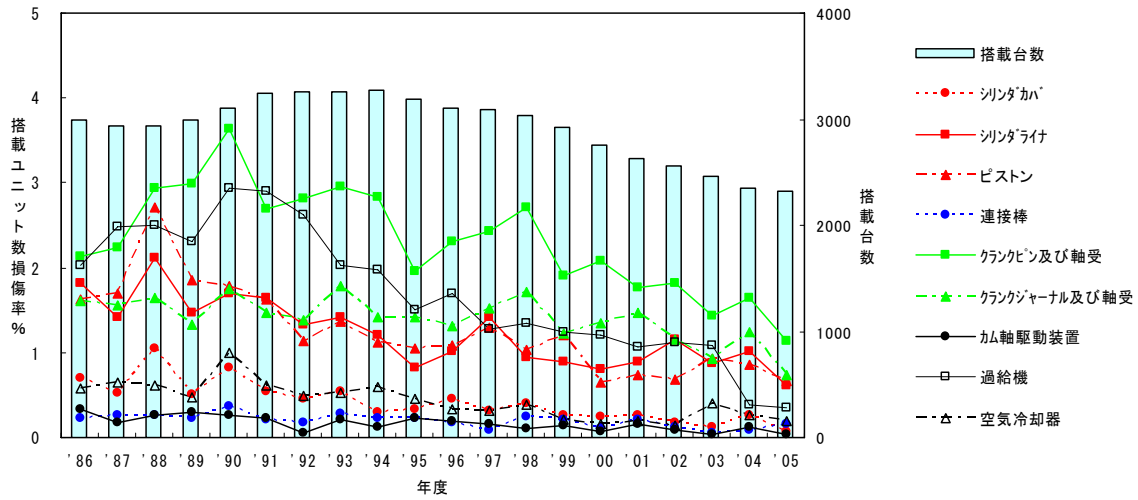

図１１　４サイクル主機関の搭載ユニット数損傷率の年度別推移

4.1 2 サイクルディーゼル主機関

2 サイクルディーゼル主機関の主な損傷は、シリンダカバ触火面の弁穴縁のき裂、シリンダライナ摺動面の摩耗、ピストンリング溝の摩耗及びピストンクラウン触火面頂部の焼損

などの燃焼室構成部品に加えて、クロスヘッドピン軸受メタル、クランクピン軸受メタル及び主軸受メタルのき裂並びに剥離などが報告されている。また、特にある特定の主機関では、過給機の損傷率が毎年継続して高い値となっており注意が必要であり、過去には機関室火災にまで至った例もある。

5. 軸系装置の損傷

5.1 中間軸

中間軸の主な損傷は、軸受メタルの摩耗及び焼損、軸受異常高温による中間軸の掻き傷、き裂などである。

中間軸及び中間軸受の主な損傷は、中間軸受メタルの摩耗及び掻き傷、軸受メタル損傷に関連した中間軸の掻き傷などである。

6. ボイラの損傷

6.1 補助ボイラ

ボイラの損傷報告の多くは管などの腐食及び衰耗である。図１２に補助ボイラの型式別搭載缶数及び損傷率を示す。

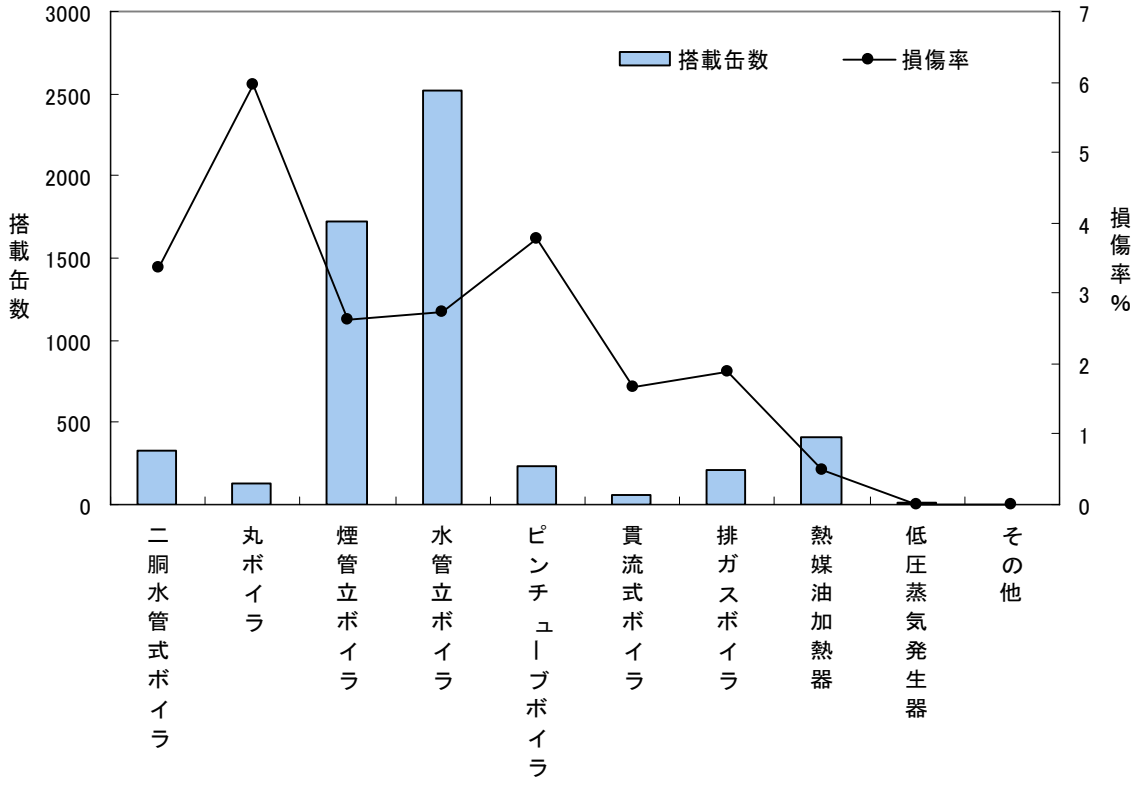

図１２　補助ボイラの型式別搭載缶数及び損傷率

主な損傷で、かつ各型式に共通する損傷は、水管や煙管の腐食及び焼損、付着弁の腐食及び摩耗などで、他に、煙管立ボイラのフリューチューブ取付溶接部のき裂、水管立ボイラの煙道出口端部のき裂などが若干報告されている。また、新しい型式のボイラで、火炉水

側のスペースが狭く、掃除が充分に出来にくいことも影響したと思われる、火炉の過熱によるき裂の発生が報告されたものがあった。
主な損傷で、かつ各型式に共通する損傷は、水管や煙管の腐食及び焼損、付着弁の腐食及び摩耗などで、他に、煙管立ボイラのフリューチューブ取付溶接部のき裂、水管立ボイラの煙道出口端部のき裂などが若干報告されている。また、新しい型式のボイラで、火炉水側のスペースが狭く、掃除が充分に出来にくいことも影響したと思われる、火炉の過熱によるき裂の発生が報告されたものがあった。
近年のコンポジットボイラにおいては、ボイラ燃焼ガスで水管を加熱し、主機関の排気ガスを煙管に通す方法やその逆の方法、または、これらの方法の一部を組合わせるなど、構造的に複雑になってきており、今後、過去の損傷形態と異なる損傷が報告される可能性が考えられる。
また、2005 年度にショートウォータによる損傷が 6 件報告（2004 年度は 3 件）された。ショートウォータは、ボイラ水位が危険低水位以下のまま燃焼が継続された場合に発生するもので、管の焼損及び変形、拡管部からの漏水などを引起こし、火炉の圧潰に至る場合もあり、多大な修理を要することもある。
多くの場合、水面計の整備不良、制御機器（水位検出器を含む給水制御系統）及び安全装置（低水位による燃料遮断装置）の作動不良に起因することから、これらの機器、及び装置の日頃の保守及び整備などの適切且つ十分な励行が大切である。
他に、多大な修理を要するボイラ事故として炉内爆発があり、爆発により人身事故に至る場合もある。

7. 主発電機用機関の損傷

7.1 主発電機用ディーゼル機関

主発電機用ディーゼル機関の損傷は、摺動部及び回転部の摩耗が主であるが、それ以外の特筆すべき損傷では、大きな修理を伴う損傷として、連接棒やバランスウェイトが、シリンダブロックまたはクランクケースを破壊して外に飛出す、所謂、足出し事故、及びクランク軸の焼損並びに折損事故などが挙げられる。

(1) 足出し事故
連接棒、バランスウェイトがシリンダブロックまたはクランクケースを破壊し外に飛出す事故を、「足出し事故」と呼称しているが、2005 年度には足出し事故（損傷の状況から足出し事故と推定されるものを含む）が 9 件報告された。これは 2004 年度の 11 件と比較し若干減少している。
2005 年度の場合、クランクピンボルトの折損（弛緩及び脱落を含む）によると推定されたものが 7 件（2004 年度は 10 件）、連接棒（本体、大端部）の破断によると推定されたものが 2 件（2004 年度は 0 件）、ピストンの割損によると推定されたものが 0 件（2004 年度は 1 件）となっている。
また、船齢で分類すると、20 年以上が 3 件（2004 年度は 5 件）、15 年以上 20 年未満が 0 件(2004 年度は 0 件)、10 年以上 15 年未満が 0 件(2004 年度は 2 件)、10 年未満が 6 件(2004

年は 4 件）である。
クランクピンボルトが折損する要因は、ピストン抜きなどの通常の開放整備での復旧時に、クランクピンボルトの締付けが不充分なことであり、その後の運転で弛み、折損や脱落して事故となったと推定されるものが多い。
ボルトの締付け不良の要因としては、締付けトルク不足や規定トルクで締付けを行ったにもかかわらず、ボルト座面に誤って異物を入れたまま締付けたことや、大端部セレーション部の非破壊検査を実施せず、き裂が発生している状態のまま復旧した結果として、締付けが不充分となったことが挙げられる。
また、機関メーカによっては、従来のトルク法によるボルト締付けから、角度法による締付けを行うよう推奨している。その理由として、トルク法による締付けでは、トルクレンチの校正不良や人為的な締付けトルクのバラツキが多く、角度法により、より精度良く（ボルト軸力が均一且つ安定）締付けを行うことが出来る為である。
その他に、機関メーカが規定しているボルトの交換時期を著しく超えて使用した為に事故となるケースもあり、機器の開放整備に際しては、取扱説明書通りに適切に保守並びに整備すること、及び最新のサービスニュースを入手することが重要である。

(2) クランク軸の損傷
上述した足出し事故によるクランク軸の損傷（二次的な損傷）を除き、クランク軸の損傷では、クランク軸の交換や機械加工などの大きな修理を余儀なくされる場合がある。
2005 年度に、クランク軸の交換（新替、新替指定または中古品と交換）を余儀なくされたものが 5 件（2004 年度は 14 件）及びクランク軸の削正など（機械加工または修理指定）を余儀なくされたものが 19 件（2004 年度は 9 件）それぞれ報告された。
これらを損傷形態で分類すると、折損が 0 件（2004 年度は 0 件)、き裂が 1 件（2004 年度は 4 件)、焼損が 16 件（2004 年度は 17 件)、掻き傷が 2 件（2004 年度は 2 件)、曲損が 1 件（2004 年度は 0 件)、摩耗、偏摩耗及び異常摩耗が 4 件（2004 年度は 0 件）となっている。
損傷部位で分類すると、クランクピン部が 17 件（2004 年度は 14 件)、クランクジャーナル部が 5 件（2004 年度は 7 件）及びその双方に関係したものが 2 件（2004 年度は 2 件）となっている。
また、船齢で分類すると、20 年以上が 10 件（2004 年度は 10 件)、15 年以上 20 年未満が 4 件（2004 年度は 4 件)、10 年以上 15 年未満が 4 件（2004 年度は 7 件）及び 10 年未満が 6 件（2004 年度は 2 件）となっている。
クランク軸の焼損原因の一つとしては、クランクピン部の焼損では、連接棒大端部軸受ハウジング内径の変形により、軸受クリアランスが減少し潤滑不良となることが挙げられる。その要因として、機関運転時の吸気行程に発生するピストン慣性力が連接棒大端部に作用し、上側セレーション部の合わせ面の口開き量が増大してセレーション部のフレッティングによる摩耗、噛合い幅の減少、慣性力による曲げ荷重増加、歯の噛合いズレ増大、ボルト軸力低下が繰返されることが挙げられる。その為、口開きが更に増大するため、連接棒大端部軸受ハウジング内径が縮小や楕円に変形するものと推定される。通常、連接棒整備

時には大端部の内径計測がなされ、不良品は交換されたり、機関メーカのインストラクションに従ってホーニング修正が行われるが、この処置がなされていないケースも報告されている。また、クランクピンボルトの締付け不良も軸受クリアランスに影響する一因でもある。

8. 機関室火災及び機関室浸水事故

2005 年度は機関室火災が 7 件（2004 年度は 2 件）及び機関室浸水事故が 0 件（2004 年度は 1 件）である。しかし、船舶の座礁により機関室浸水事故を起こした海難により報告が、毎年数件報告されている。

9. まとめ

2005 年度の検査記録書を調査した結果、2004 年度以前の数年間と比較して、損傷の傾向などに大きく変わったところは認められないが、以下の点が注目される損傷である。

(1) データ上の傾向としては、**図 1** に示したディーゼル主機関の損傷率の推移に現れているように、2 サイクル主機関及び 4 サイクル主機関の損傷率は共に、最近の数年間は概ね横這いに近い状態にあるといえる。しかし、1990 年頃から見れば、損傷率は明らかに減少傾向にある。

この減少には、各機関メーカの長年に亘る技術革新による各部品の信頼性の向上が寄与しているものと考えている。

(2) 一方、保守不良及び操作ミスに起因した重大な損傷は、例年ほぼ一定割合で報告されており、2005 年度もほぼ同様の結果であった。このような重大な損傷を起こした場合、多大な金銭的な負担及び復旧には相当の時間を要すると共に、それが海上で発生すれば、貴重な人命や財産が危機にさらされる結果にも繋がりかねない。重大な損傷を回避する為には、日頃の乗組員への注意喚起及び教育が重要であるが、様々な軽微な兆候を見逃さず、かつ、一旦事故が発生した場合には、それを拡大させない為の方策を徹底しておくことが肝要と考える。

(3) ある特定の中型ディーゼル主機関において、過給機のオーバラン及び爆発が 2005 年度も相変わらず報告されている。いずれもが船舶の航行に支障を及ぼす重大な損傷に至っている。この損傷は必ずしも過給機単体の問題のみから発生しているものではなく、主機関の汚損、ピストン等の保守不良及び過給機入口の排気ガス温度などに大きく影響され、結果として過給機のオーバラン及び爆発に至っている場合が多く、機関室火災を起こしたケースも報告されている。

本会では、機関メーカ（ライセンシを含む）と事故防止対策の協議を重ね、機関メーカから再度提起された事故防止対策のサービスニュース及びチェックリストを、直接機関長及び船舶管理会社に手渡すことにより、適切な保守、整備が実施されるように事故防止を計っている。

(4) 中間軸では、乗組員による潤滑油操作弁の開閉度調整不良により、軸受温度が異常高温となり、中間軸にき裂が発生するケースが報告されている。また、軸継手ボルトの破断や、き裂の発生等の損傷が数件報告されており、この原因は、継手ボルトの

工作不良、締付不良及び据付時の施工不良によるものと思われ、軸継手ボルトを開放した際には、外観検査や非破壊検査を実施することが望まれる。

(5)　主発電機用機関では、大きな修理を伴う損傷として、連接棒やバランスウェイトがシリンダブロックやクランクケースを破壊して外に飛出す､所謂､足出し事故が 2005 年度も報告されている。その多くの原因が、乗組員によるピストン抜きなどの、通常の開放整備時の、適切な保守や整備が実施されなかったこと、及び復旧時のクランクピンボルトの締付け不良等である。今後もより一層の適切な保守や整備、乗組員の技量向上及び船舶管理会社よりの適切なサポートが実施されることが望まれる。機関関係の重大な損傷は、その殆どが主機関、推進軸系に関連して発生していることから、これらの保守に重点を置くことが望まれる。

最後に、本稿が船舶の安全性並びに機器の信頼性向上、及び乗組員の教育に、少しでも寄与できれば幸甚である。